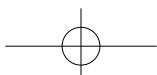
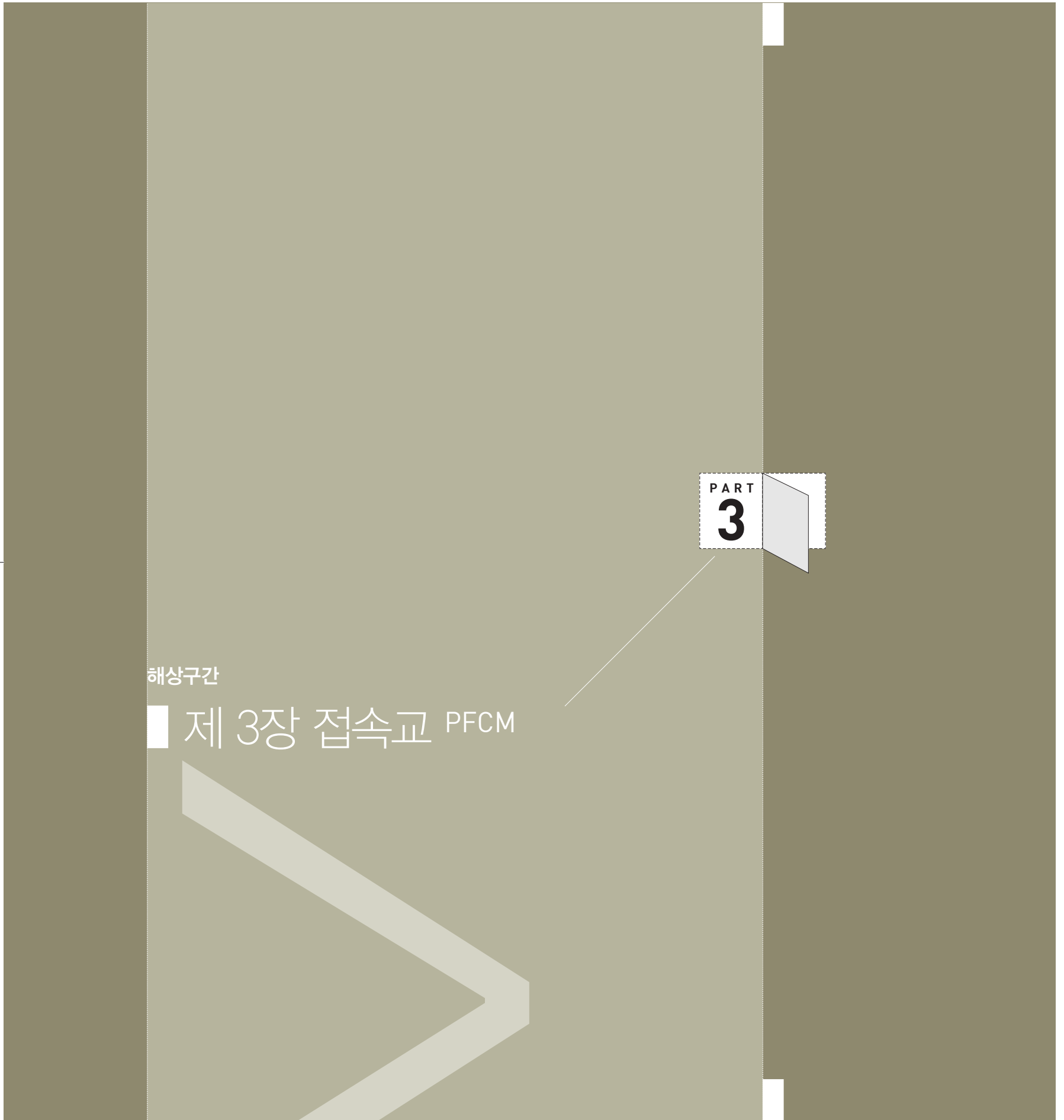
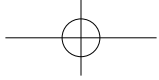


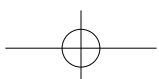
# Marine Section





해상구간

제 3장 접속교 PFCM





## 제1절 하부공 시공

### 1.1 시공개요

접속교의 구조계는 30m 이상의 고교각으로 구성되는 하부구조의 유연성을 고려하여 다절점 고정방식을 적용하였다. 내측 6개소 교각(W4~W9, E4~E9)의 경우는 상·하부 일체(고정)의 라멘형식이며, 그 외 단부 교각(W3, W10, E3, E10)에는 일방향 받침을 설치하였다. 이 중에서 W3번과 E3번 교각은 사장교에 포함되며, 말뚝기초 부분은 “해상 대구경 현장타설말뚝 공사”편에서 다루었다.

### 1.2 PC HOUSE 가설

#### 1.2.1 시공계획

PC House는 해상 기초 콘크리트 타설을 위한 콘크리트 상자형 거푸집으로서 육상에서 제작하여 해상 크레인을 이용하여 운반한 후, 기 설치된 현장타설말뚝(F2400) 두부에 부착시킨 브라켓 위에 거치하는 구조물이다.

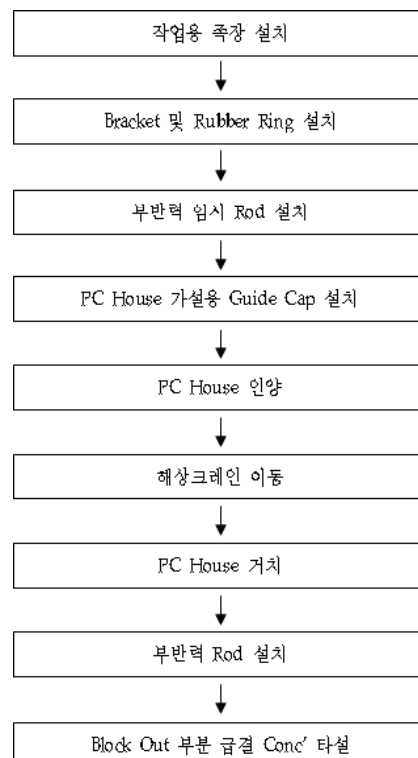
#### 1) PC HOUSE 및 기초 일반도

#### 2) 공사수량

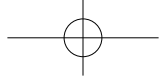
#### > PC house 공사 수량

구 분	BLOCK		제 원		비 고
	수량(EA)	중량(ton)	철근(ton)	콘크리트(m³)	
접속교 동·서측	14	950/EA	126/EA	372/EA	· 서측 : W4 ~ W10 · 동측 : E4 ~ E10

#### 3) 가설 Flow Chart



#### > PC House 가설 Flow Chart



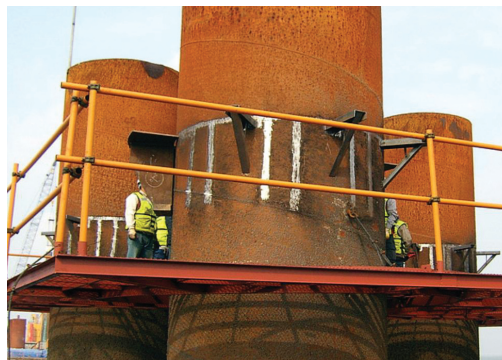
## 1.2.2 세부 시공내용

### 1) 작업용 족장 설치

현장타설말뚝 시공이 끝나면 PC House 거치용 Bracket 설치를 위한 작업용 족장을 설치한다. 접속고 구간의 작업용 족장은 4개 파일당 1세트가 설치된다. 작업용 족장 1세트는 Main 발판 1개와 착탈식 Round 발판 4개로 구성된다. 작업용 족장은 송도제작장에서 사전제작하여 바지에 선적한다.

### 2) Bracket 및 Rubber Ring 설치

작업용 족장의 설치가 완료되면 PC House 거치용 Bracket을 설치한다. Bracket은 파일 1개소당 총 8 세트가 설치된다. Bracket은 송도제작장에서 사전 제작한다. GPS 측량으로 현장타설말뚝 1 개소에 Bracket 설치고를 마킹하고, 나머지 파일에는 물수평기를 이용하여 Bracket 설치고를 마킹한다. 설치 위치가 결정되면 Bracket 임시 거치대를 가용접하여 설치하고, 현장타설말뚝의 강관과 Bracket의 용접 연결부를 그라인더를 이용하여 면처리 한다.



Bracket 임시 거치대 설치



Bracket 설치

#### > Bracket 설치 및 면처리

면처리가 완료되면 송도 제작장에서 기제작된 Bracket을 인양하여 설치한다. 이후 Bracket 상부에 Rubber Ring을 설치한다.

### 3) 부반력 임시 Rod 설치

다음은 강봉의 Nut를 이용하여 부반력 임시 Rod를 Bracket 상부에 설치한다.

### 4) PC House 가설용 Guide Cap 설치

부반력 임시 Rod 설치가 완료되면 PC House 설치시 위치조정을 위한 Corn 형식의 Guide Cap을 현장타설말뚝의 네 귀에 설치한다. Guide Cap 역시 송도 제작장에서 사전 제작한다.



#### > PC House 가설용 Guide Cap 설치





#### 5) PC House 인양 및 거치

PC House 설치를 위한 사전작업이 끝나면 3000톤 해상크레인을 이용하여 송도제작장에서 제작 완료된 PC House를 인양하여 설치한다. 인양 및 설치 모두 조수간만을 고려하여 작업 일정을 잡는다. 특히 PC House 가설은 가설이 끝나면 바로 부반력 Rod를 설치해야만 하므로 간조시 최단시간 내에 작업이 완료될 수 있도록 관리한다.



> PC House 설치

#### 6) 부반력 Rod 설치

PC House 거치가 끝나면 상부 Bracket을 PC House 상부에 매입된 원형 Plate에 용접하여 고정하고 부반력 Rod를 체결하여 PC House를 고정시킨다.

#### 7) 급결 Conc' 타설

부반력 Rod의 설치가 완료되면 PC House 가설의 마지막 단계로서 저조시 해상 BP를 이용하여 급결 콘크리트를 타설한다. 타설전에는 미리 타설 부위를 청소하여 이물질 제거하고 수분을 건조시킨다.



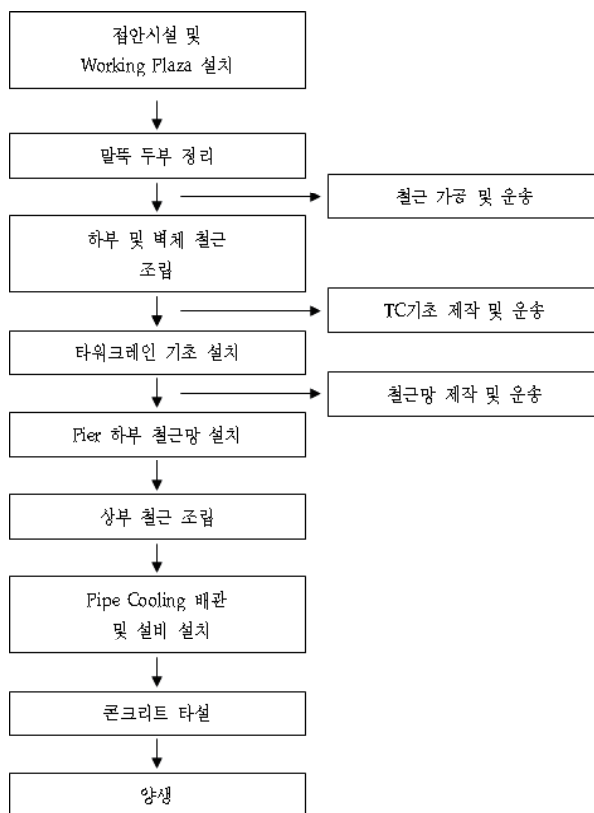
> 급결 콘크리트 타설 및 PC House 가설 완료



### 1.3 Pile Cap 시공

#### 1.3.1 시공계획

Pile Cap은 PC house 내부공간에 철근배근 및 콘크리트를 타설함으로써 교각기초(Footing)를 시공하는 과정이다. 이 시공을 위한 Flow Chart는 다음과 같다.



#### > Pile Cap 시공순서도

#### 1.3.2 세부 시공내용

##### 1) 접안시설 및 Working Plaza 설치

PC House 설치가 완료되면 바지 및 작업선의 접안을 위한 접안시설과 컨테이너 사무실, 발전기, 양생시설 등의 적재를 위한 Working Plaza를 PC House에 설치한다. 접안시설 및 Working Plaza는 PC House에 사전 매입된 앵커와 인양용 강봉을 이용하여 설치한다.

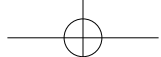


Working Plaza 설치



접안시설

#### > 접안시설 및 Working Plaza 설치



## 2) 말뚝 두부 정리

PC House 설치 후 현장타설말뚝 두부정리 작업을 시행하였다. 현장타설말뚝 시공시 슬라임 등의 불량콘크리트와 레이턴스 제거 및 만조시 해수면의 높이를 고려하여 말뚝 상단을 설계고보다 1.5~2m 추가 타설한 상태였으므로, PC House 설치 후에 추가 타설된 부분을 모두 제거하고 말뚝 이음철근을 노출하고자 희생강관을 절단한 후, 착암기, 브레카 등을 이용해 두부정리 작업을 실시하였다. 강관 절단이 완료되면 코어드릴, 할암기, 해머드릴 등을 이용하여 외측부터 말뚝 상부 콘크리트를 파쇄한다. 콘크리트 폐자재는 분리 수거후 육상으로 반출하여 처리한다.



### > 파쇄 및 철근 샌딩작업

말뚝 상단 콘크리트 파쇄가 완료되면 상부 철근을 감싸고 있던 PE 필름을 제거하고 샌딩을 실시한다. 이후 PC House 내부 청소를 실시하여 두부정리를 마무리한다.

## 3) 하부 및 벽체 철근 조립

말뚝 두부정리가 마무리되면 하부 및 벽체 철근 배근을 실시한다. 먼저 100\*100\*340 H-Beam 84개를 이용하여 기초 철근의 스페이서를 설치한다.



### > Pile Cap 하부철근 배근

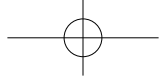
## 4) 타워크레인 기초 설치

우마 앵글 설치가 완료되면 타워크레인 기초를 설치한다. 타워크레인 설치시에는 타워크레인의 접지선을 말뚝 강관에 접지시키고, 위치와 수직도를 정확히 관리하여 시공한다. 또한 상부의 플랜지 부분에는 타설시 콘크리트 몰탈 및 이물질이 묻지 않도록 비닐 등으로 감싸둔다.

## 5) Pier 하부 철근망 설치

송도제작장에서 Pier 하부 철근망의 선조립이 완료되면 제작 검측 후 바지에 선적하여 해상으로 운송한다. 철근망의 선적 및 설치시에는 제작시 사용된 jig를 이용하여 형상이 틀어지지 않도록 유의한다. 또한 철근망 운송시에는 바지에 단단히 고정하여 전도되지 않도록 조치한다. 운송된 철근망은 바지의 250Ton 크레인을 이용하여 정위치에 설치한다.





철근망 설치



250Ton 크레인 인양능력 검토

> Pier 하부철근망 설치

6) 상부 철근 조립

타워크레인과 Pier 하부 철근망 설치가 완료되면 상부 철근 배근을 실시한다.



> Pile Cap 상부철근 배근

7) Pipe Cooling 배관 및 설비 설치

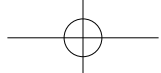
접속교 Pile Cap의 경우 28.2m \* 13m \* 5m (PC House 외측 기준) 의 규격을 갖는 매스 콘크리트이다. 따라서 시공 초기에는 타설 후 양생시 발생하는 수화열 저감을 위하여 Pipe Cooling 설비를 설치하였다. 하지만 Pipe Cooling 설비의 설치 및 해체, Pipe Cooling 실시에 많은 시간과 비용이 소요되므로 이후에는 Pipe Cooling을 실시하지 않는 개선안을 도입하여 시공완료하였다.

8) 콘크리트 타설

접속교 Pile Cap은 1개소당 총 1,436m³의 콘크리트가 소요된다. 콘크리트 타설은 해상 BP를 이용하여 실시되었으며, 타설시에는 2대의 해상 BP를 동시에 투입하였다. 타설 완료시에는 Pile Cap 상부면이 설계도서에 정의된 배수구배를 가지도록 관리한다.



> Pile Cap 콘크리트 타설

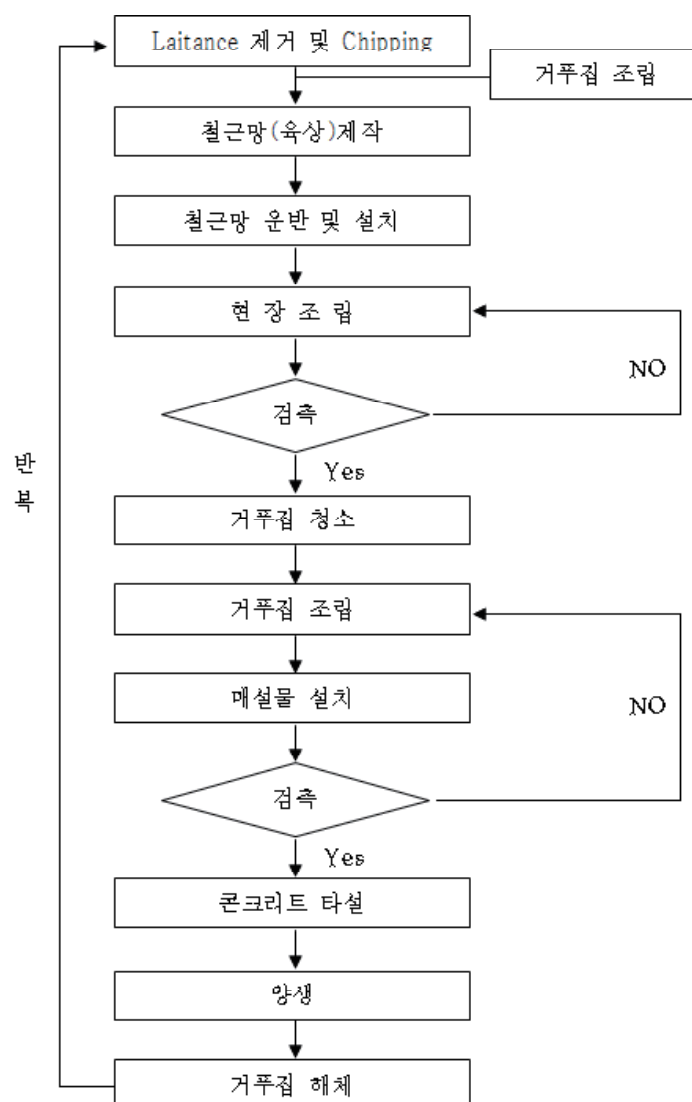


## 1.4 Pier 시공

### 1.4.1 시공 계획

#### 1) 시공 Flow Chart

인천대교 접속교의 Pier는 2가지 종류가 있으며 총 수량은 28개이다.



#### > 시공 Flow Chart

### 1.4.2 세부 시공내용

#### 1) Chipping 작업

- (1) 양생 종료되면 이어치기할 부분에 Hand Breaker 등을 이용하여 치핑작업을 시행하였다.
- (2) 신규 콘크리트 접합면은 접착을 원활히 하기위해 3~5cm 정도의 요철을 두었으며, Fresh한 콘크리트가 노출되도록 하였다.
- (3) Con'c 표면과 주철근 사이(피복부)는 미관 등을 고려하여 Chipping을 하지 않고 와이어 브러쉬를 이용하여 레이턴스를 제거 하였다.



> 신규 콘크리트 접합면 Chipping 작업



### 3) 철근망 운반 및 설치

#### (1) 철근망 운반

- 제작된 철근망은 설치 일정에 맞추어 크레인으로 인양하여 물량장으로 이동
- 운송용 Barge를 물량장에 접안하여 선적 후 예인선으로 예인하여 작업장소로 이동하였다.

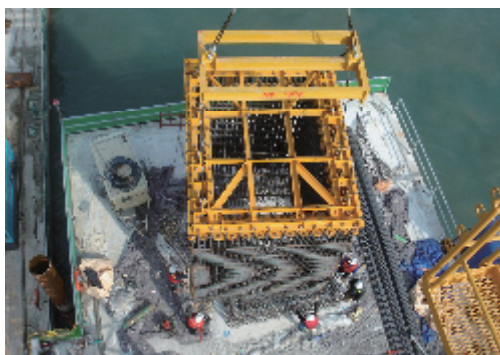


> 철근망 선적

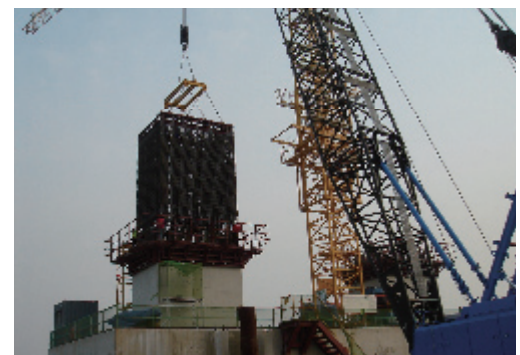


#### (2) 철근망 설치

- 크레인을 이용하여 Jig 상단부에 Main Hook를 체결하고 인양한다.
- Barge에서 철근망으로 인양하여 노출철근(주철근) 부위에 근접시킨 후 Boom 위치를 조정하여 철근망 하부와와 수평상태를 유지시켰다.
- 이전 노출철근(주철근)과 신규철근망 모서리 부분을 우선적으로 Coupling 작업을 실시하고, 순차적으로 나머지 Coupler 체결작업을 실시하였다.
- Coupler 연결작업을 위해 조립하지 못한 횡방향 철근 및 스트립 철근은 현장에서 조립하였다.



1Lot 철근망 설치



철근망 연결

#### > 철근망 설치 및 커플러 연결





#### 4) 거푸집 작업

##### (1) 거푸집 제작

- 거푸집은 Steel Form으로 각 Pier 1Lot는 5m, 2Lot부터 6m씩 콘크리트 타설하였다
- 거푸집을 최대한 활용할 수 있도록 1.2m+2.4m+2.4m+1.2m로 거푸집을 분할제작 후 Bolt 체결로 조립 연결하였으며, 마지막 부분 거푸집 1.2m는 다음 Lot 설치를 위한 Band Form으로 사용하였다.

##### (3) 거푸집 설치 및 해체

###### ① 거푸집 설치

- Pile Cap 상단 1Lot 거푸집 설치는 Pile Cap 상단에 설계좌표를 이용한 모서리 4점을 표시 후 거푸집을 설치하였다.



##### > 거푸집 설치 작업 전경

- 각 Lot의 위치측량은 인근 Pile Cap 상단의 기준점에서 광파기를 이용하여 교축 및 교축직각 방향의 위치를 결정하였다
- 수직도 확인은 수직추로 거푸집 상단에서 하단까지 내려 그 차이를 비교하였다.

###### ② 거푸집 해체

- 해체 시기는 설계기준강도인 35MPa의 2/3에 도달하는 시점에 측정한 압축강도 시험을 통해 결정하였다.

#### 5) 매설물 설치

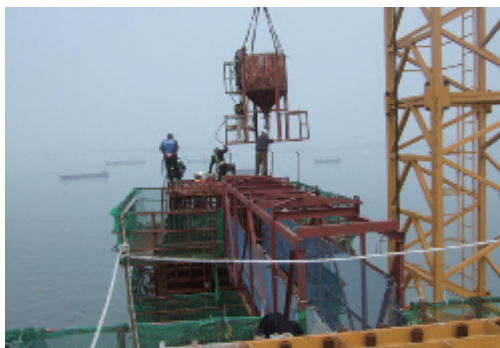
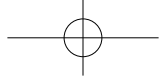
- Coping 시공을 위해 Pier 최종 Lot 이전 Lot에서 설계 타설고를 결정하기 하였다.
- 최종 높이 결정을 위해 조절 Lot에서 Band Form을 사용할 수 없으므로 거푸집을 지지할 수 있는 받침을 스트롱 양카로 고정하여 시공하였다.
- W10과 E10에 상부가설공 End seg 현장시공을 위한 Bracket 고정용 앵커홀을 설치하였다.

#### 6) 콘크리트 타설

Pier구간의 콘크리트 타설은 교각 높이에 구분하여 적용하였다. 즉, 해상 BP의 타설고는 MSL 기준으로 4 Lot 까지는 해상 BP를 이용하여 직접 타설을, 5 Lot 이상부터는 해상 BP + 타워크레인의 Bucket을 조합한 방법을 적용하였다. Bucket은 12Ton 타워크레인의 양중 능력을 고려하여 3m<sup>3</sup> 용량을 사용하였다

##### (1) 하절기 타설

하절기 콘크리트 타설 작업은 한낮 시간은 가급적 피하고, 오전 9시 전후 혹은 오후 3시 이후에 주로 실시하였다. 타설후 직사광선 영향을 고려하여 상부에 천막 및 부직포로 덮개를 설치하였다. Pier 각 모서리 부분에 콘크리트 자바라 호스를 투입하여 1회 1m 타설 후 위치를 이동하여 순차적으로 타설하는 방법을 사용하였다.



Bucket 이용한 타설



타설 후 천막덮개 설치

#### > 콘크리트 타설작업

#### (2) 동절기 타설

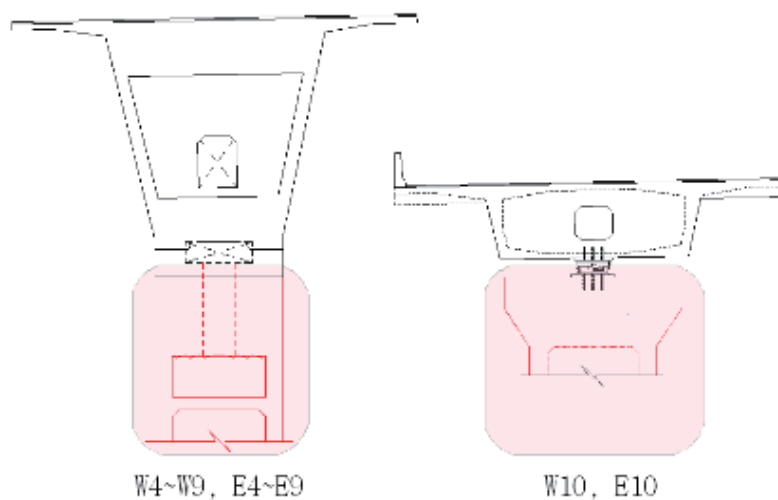
기본적으로 동절기 타설 작업은 지양하였으며, 다만, 일정상 타설 작업이 불가피한 경우에는 충분한 보온시설을 마련한 후 실시하였다. 동절기 콘크리트 타설은 상온에서 이루어졌으며, 양생시간 동안 기온이 하강할 것에 대비해 거푸집 난간 주변으로 천막과 부직포로 전체를 감싸고 열풍기를 수시로 가동하여 내부온도를 유지시켰다.

### 1.5 Coping 시공

#### 1.5.1 시공 계획

##### 1) 개요

접속교 구간 Coping은 W4~W9, E4~E9와 E10, W10의 두 가지 타입으로 구성되어 있다. W4~W9와 E4~E9 형식의 Coping은 3 Lot로 분할하여 시공하며 E10, W10 형식의 Coping은 1 Lot로 시공한다. Coping의 형상은 다음 그림과 같다.

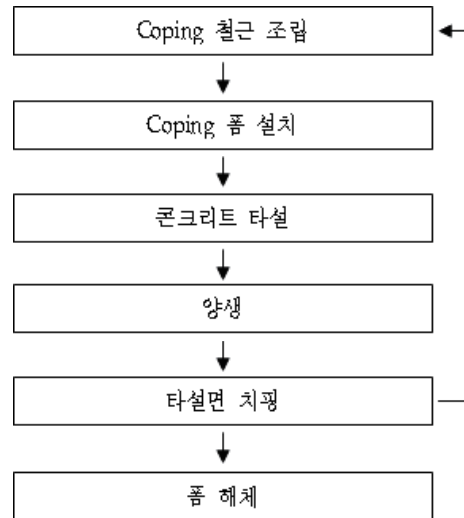


#### > 접속교 Coping 형상





## 2) 시공 Flow Chart



### > 시공 Flow Chart

## 1.5.2 세부 시공내용

### 1) Coping Mock-Up 테스트

접속교 Coping은 그 형상이 복잡하고, 내부에 Tendon 및 정착구 Blockout Box, 강봉홀 등이 위치하고 있어 시공이 쉽지 않다. 또한 각종 홀이 상부의 매치캐스트 블럭 및 대블럭과 정확히 위치해야 하므로 시공성 검증 및 정확한 공사관리를 위하여 육상에서 Mock-Up 테스트를 실시하였다.

### 2) Coping 하부 슬래브 폼 설치

Pier 시공이 완료되면 교각 내부에 앵커와 브라켓을 이용하여 하부 슬래브 폼의 지지대를 아래와 같이 설치하였다. 지지대 설치가 완료되면 200\*100 H-Beam과 150\*150 앵글 및 18mm Plywood 합판을 이용하여 하부 슬래브 폼 설치를 완료한다. 본 하부 슬래브 폼은 타설 후 해체 불가하므로 영구매입하여 사장시킨다.

### 3) 외부폼 설치 및 철근 배근

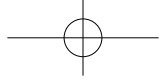
하부 슬래브 폼의 설치가 완료되면 Pier 상부 폼을 이용하여 외부폼을 설치하고, 이어서 하부 슬래브 및 벽체 철근을 배근한다.

### 4) 하부 슬래브 콘크리트 타설 및 양생

하부슬래브 철근배근이 완료되면 해상 BP + 타워크레인의 Bucket을 이용하여 하부 슬래브 (Coping 1단) 타설을 실시한다. 동절기의 경우에는 양생막과 열풍기를 이용하여 보온양생을 실시한다. 양생이 끝나면 Coping 벽체의 연결부를 소형 브레이커로 치핑하여 Coping 2 Lot 시공을 준비한다.



### > Coping 1단 콘크리트 타설

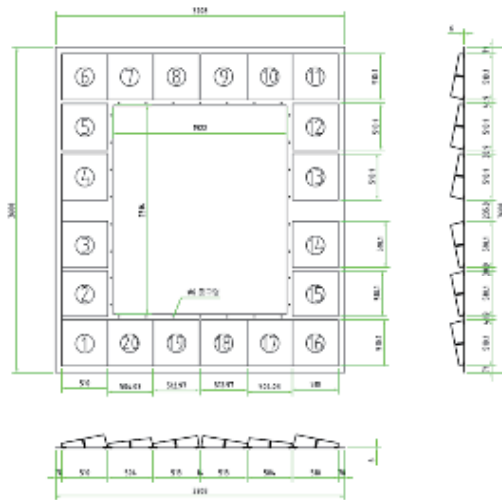


## 5) 2 Lot 시공

1 Lot의 치핑이 마무리되면 Coving 2 Lot의 벽체 철근을 배근하고 내외측 폼을 설치한다. 폼 설치가 완료되면 역시 같은 방법으로 콘크리트를 타설하고, 양생 및 연결부 치핑을 실시한다.

## 6) 상부 슬래브 바닥폼 및 정착구 Blockout 박스 설치

2 Lot 시공이 완료되면 Mock-Up 3-1 단계와 같이 상부 슬래브 바닥폼 및 정착구의 Blockout 박스를 설치한다. 3 Lot는 Coving 시공중 가장 복잡하고 중요한 부분이며 특히 상부공 가설에 직접적인 영향을 끼치므로 철저히 관리하였다. Coving 상부 슬래브의 바닥폼과 정착구 Blockout 박스는 합판으로 제작하여 설치하며, 특히 정착구 Block out 박스의 경우 텐던의 3차원 형상을 고려하여 정착구가 텐던에 수직으로 설치될 수 있도록 관리한다.



연직텐던 정착구 위치도



Block Out 박스 설치

### > 연직텐던 정착구 Block Out 박스 설치

## 7) 철근 배근 및 쉬스관 설치

다음에는 Coving 3 Lot의 철근 배근 및 강선과 강봉의 쉬스관 등을 설치한다. 철근 배근 및 쉬스관 설치 작업은 다음의 사진을 참조한다.



Coving 3단 철근 배근



쉬스관 위치 고정용 template 설치

### > Coving 3단 철근배근 작업

쉬스관 설치시 (특히 강선의 정착구와 쉬스관) 에는 쉬스관의 3차원 형상을 고려하여 정확한 시공이 이루어지도록 관리한다. 특히 상부의 Match Cast Block과의 연결부에서는 정확한 위치를 맞출 수 있도록 template를 제작하여 사용한다. 또한 타설중 쉬스관의 파손을 방지하기 위해 쉬스관 내부에는 보호용 PE 관을 설치한다.



#### 8) 폼 해체 및 Coving 상부 치핑

Coving 3 Lot의 콘크리트 타설 및 양생이 마무리되면 내외측의 Coving 폼을 해체한다. 또한 MCB 가설후 그라우팅을 위한 예비작업으로 소형 브레이커를 이용하여 Coving상부를 치핑한다.

#### 9) W10, E10 Coving 시공

W10과 E10의 Coving은 1 Lot를 동시에 시공한다. 특이사항으로는 접속교의 타 Coving과는 달리 교좌장치가 위치하므로 정확한 위치에 교좌장치 설치를 위한 매입물이 시공될 수 있도록 관리한다. 다음은 W10 및 E10 Coving 시공관련 사진이다.



> W10, E10 Coving 콘크리트 타설

## 제2장 | 주두부 대블럭 제작

### 2.1 제작개요

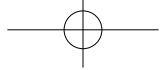
프리캐스트로 제작된 길이 20m의 주두부 대블럭(1400톤)은 3,000톤 해상 크레인으로 운반하여 일괄 가설하게 된다. 고중량인 이 대블럭을 해상의 고교각 위에 시공오차 없이 정밀하게 가설하기는 어려우므로 상대적으로 중량이 적어서 제어하기가 쉬운 MCB(Match Cast Block)라는 중간부재를 두어 하부구조의 오차를 1차적으로 흡수하는 방법으로 주두부 시공을 진행하게 된다. 그러므로 이 MCB 부재는 대블럭과 접합되는 면을 전단키 형상으로 적용하여 제작함으로써 대블럭 가설시에 접합이 용이하도록 설계되었다. 따라서 첫 번째 가설의 기준이 되는 MCB 부재의 정밀한 제작과 설치가 매우 중요한 시공관리 포인트라 할 수 있다.

#### 2.1.1 시공 수량

MCB와 대블럭은 단부교각(W3,W10,E3,E10)을 제외한 내부 교각의 기둥(Colum) 개수와 동일한 수량으로 제작된다. 즉 교각당 2개씩 총 24개의 주두부가 제작 및 가설되어야 한다.

#### > MCB와 주두부 대블럭 시공 수량

구 분	서 측	동 측	소 계
MCB	12 EA	12 EA	24 EA
주두부 대블럭	12 EA	12 EA	24 EA



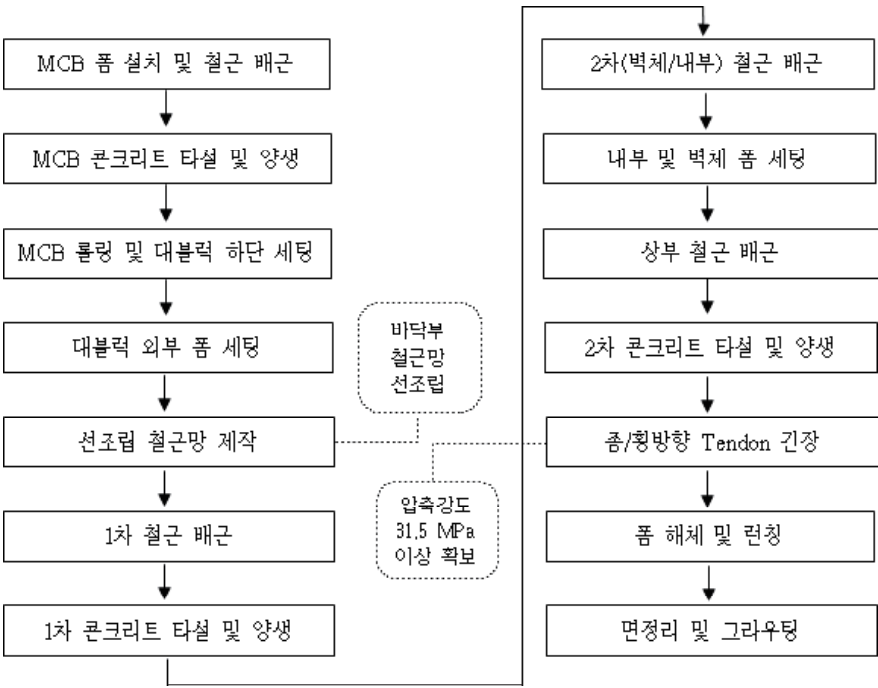
2.1.2 제작 제원

MCB와 대블럭의 1개소당 제작 제원은 다음과 같다.

> MCB와 대블럭 제작 제원

구 분	MCB(Match Cast Block)	주두부(Pier Table)
높 이	1,300 mm	8,500 mm
길 이	5,852 mm	20,000 mm
폭	5,000 mm	15,700 mm
중 량	68 Ton/EA	1,400 Ton/EA
콘크리트	28.6 m³/EA	556 m³/EA
철 근	4,244 Ton/EA	95.39 Ton/EA

2.1.3 제작 Flow Chart



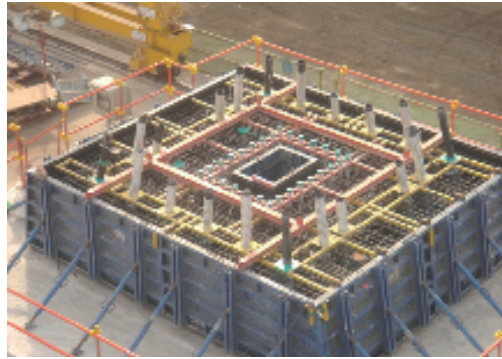
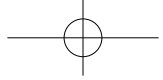
> MCB & 대블럭 제작 Flow

2.1.4 시공성 검토

1) 개요

MCB 부재는 대블럭 제작 과정의 원활한 공정 추진을 위해 동일한 몰드에서 두 개의 물량을 연달아 제작하여 하나는 해상 교각에 먼저 설치하고, 나머지 하나는 대블럭 제작에 사용되는 유사 매치캐스팅 공법을 적용하여야 한다.

이 경우, 먼저 제작되어 가설된 MCB의 상면과 다음에 제작될 대블럭 하면의 접합부가 정밀하게 접촉되기 위해서는 MCB 제작 단계에서 거푸집 폼의 변형되지 않아야 한다. 이를 위해서 강성이 큰 강재(탄소강) 거푸집으로 바닥면을 형성함으로써 MCB의 제작 형상의 품질을 확보토록 계획한다. 이와 같이 정밀하게 제작된 MCB는 이어 제작될 대블럭의 하부면에 설치되어 매치캐스팅 접합면이 되는 거푸집 역할을 하게 된다.



> MCB 대블럭 제작 전경

## 2.2 공정 현황

### 2.2.1 MCB 제작 Cycle Time

공 종	폼 조립	철근 배근	Con'c 타설	양 생	폼 해체	물링
작업일수	1일	4일	1일	7일	1일	1일

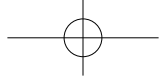
### 2.2.2 주두부 제작 공정표 (Actual)

Pier No.	'09년			'07년				'00년		
	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4
2-4-3/S										
2-5-3/S										
2-6-3/S										
2-7-3/S										
2-8-3/S										
2-9-3/S										
E-4-3/S										
E-5-3/S										
E-6-3/S										
E-7-3/S										
E-8-3/S										
E-9-3/S										
공정 분석	폼드 계층을 통하여 폼 세팅 최적화		각업자 순번도 향상 기간		작업 호출 100% 완료			동월기 (14년 4월 4일)		작업 호출 100% 완료
Cycle Time	80 일/EA		40 일/EA		25 일/EA			35 일/EA		25 일/EA

### 2.2.3 주두부 제작 Cycle Time

작업 내용	기간	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
1차 철근 설치	5 일																		
1차 폼 세팅	3 일																		
외부 폼 세팅	2 일																		
1차 철근 조립	4 일																		
1차 폼 세팅	2 일																		
1차 Con'c 타설	1 일																		
내외/외부 철근 조립	10 일																		
2차 폼 세팅	5 일																		
상부 철근 조립	3 일																		
2차 Con'c 타설	1 일																		
Con'c 양생	5 일																		
London 간송	1 일																		
완성 및 Form 해체	2 일																		
주두부 대블럭 제작 개소명 Cycle Time		Cycle Time : 25일																	





## 2.3 주요 가시설 및 투입 장비

### 2.3.1 주요 가시설

#### 1) MCB 롤링 작업용 모래판 및 덕트 가이드 프레임(Template)

제작 완료된 MCB를 180도 뒤집어야 하므로 롤링 작업을 위하여 모래판(두께 200mm)을 설치하였다. 이때 롤링 작업시의 충격 완화와 모래의 유실 방지하기 위하여 20mm의 고무판을 모래판 하부에 설치하였다. MCB 수직 덕트들의 정위치에 설치를 위하여 템플릿(Template)을 제작하여 사용하였다.



> 모래판과 Template 및 철근 선조립 작업 전경

#### 2) 선조립 철근망 리프팅 프레임

주두부 바닥부에 들어가는 선조립된 철근망을 대블럭 몰드 내부로 운반하기 위하여 철근망 리프팅 프레임 제작하였다. 이는 철근망 운반시 변형되는 것을 방지하고 무게중심을 유지하기 위한 것이다.

#### 3) 대블럭 이동 대차

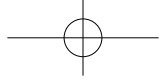
타설 완료된 대블럭을 몰드 외부 인양 위치까지 이동시키기 위하여 대블럭 전용 이동 대차를 제작하였다. 이동 대차는 총 3EA 제작하였으며, 구조물의 횡구배 2%를 고려하였다.

#### 4) 대블럭 스키드 레일

제작 완료된 대블럭을 몰드 외부의 인양 위치까지 이동시키기 위하여 스키드 레일을 설치하였으며, 사용하지 않을 때는 레일을 훼손을 방지하기 위하여 덮개 판을 설치하여 보호하였다.



> 대블럭 전용 이동대차 & 스키드 레일



### 5) 측량탑

주두부 대블럭 상하부의 제작 레벨 및 좌표 측량을 위하여 핀 파일(F712mm)을 이용하여 측량탑을 설치하였다.



#### > 대블럭 제작용 측량탑

### 6) 수직 텐던 덕트 정위치 설치용 가이드 프레임

수직 텐던(PT Tendon) 정착구 블럭아웃 박스의 정위치 설치를 용이하게 하기 위하여 가이드 프레임(Template Frame)을 제작하여 설치하였다.

### 7) 상부 타설면 마감용 작업 대차

상부 슬래브 2차 콘크리트 타설 후 최종 마감을 위하여 작업 대차를 제작하였으며, 모터를 이용하여 전동식으로 이동할 수 있게 하였다.

### 8) 증기 양생 설비

주두부 증기양생 시스템은 수동 조절이 아닌 센서에 의한 자동 제어시스템으로 이루어져 유류비 절감으로 인한 경제적인 운영과 현장 품질기준에 부합하는 양생 품질을 확보하였다.

증기양생을 위한 양생 천막은 종방향 개폐 및 앞뒤 천막개폐가 가능하도록 설치하였으며, 기상이 악화되었을 경우에도 양생 천막을 덮고 내부에서 작업 할 수 있도록 하였다.



#### > 주두부 대블럭 증기 양생전경

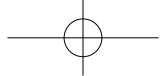
## 2.3.2 주요장비

### 1) 겐트리 크레인(Gentry Crane)

철근 운반, 폼 세팅, 선조립 철근망 운반용 50톤 겐트리 크레인 1대와 MCB 롤링 작업 및 MCB 세팅 작업용으로 150톤 겐트리 크레인 1대를 사용하였다.

### 2) 타워 크레인

타워 크레인(Model No : POTAIN K30/K30C PA 683)을 설치하였다. 이 타워크레인은 12 톤 양중능력과 70m의 작업 반경을 가지도록 계획하였다. 이를 통해 양중 작업 여건이 개선되고, 작업 효율이 크게 향상되어 Cycle Time 단축 효과를 얻을 수 있었다.



> Gentry Crane & 타워 크레인

#### 2.4 MCB 제작

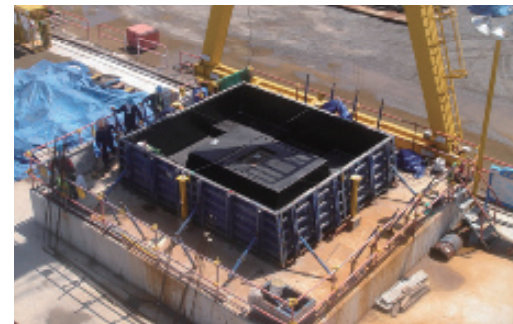
MCB는 대블럭 하부면과의 접촉면 품질을 확보하기 위하여 상하면을 반전하여 제작하였으며, 코핑 가설용 1EA, 대블럭 제작용 1EA, 대블럭 런칭 대기용 1EA로 총 3EA개가 우선 제작되어야 한다.

##### 2.4.1 폼 조립

MCB 바닥 폼 분리시의 변형을 방지하기 위하여 S45C 기계 탄소강으로 제작되었으며, 폼 탈형 후 바닥 폼의 변형 상태를 확인하기 위하여 레벨 측량을 수시로 실시하였다. 또한, MCB 분리시 모서리 파손을 방지하기 위하여 폼 바닥면에 Chamfer를 두었으며, 분리를 용이하게 하고자 Chamfer 부위에 접착용 테이프를 부착한 후 콘크리트를 타설하도록 하였다. 측량이 확인 완료되면 아래 그림과 같이 외부 폼을 조립한다.



MCB 바닥 폼 측량

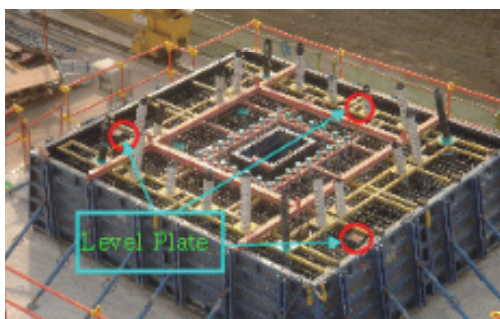


모서리 Chamfer

##### > MCB 바닥 및 외부폼

##### 2.4.2 철근조립

코핑 상부에 MCB의 셋팅 레벨을 조정하기 3지점으로 볼트를 설치해 두었다. 또한, 철근조립 완료 후 타설시 쉬스관 위치를 견고하게 고정하고 변동을 방지하기 위하여 가이드 프레임(Template)을 설치하였다.



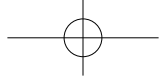
레벨 플레이트



덕트 가이드 프레임(Template)

##### > MCB 레벨조정 볼트 및 덕트 가이드 프레임





#### 2.4.3 콘크리트 타설 및 양생

펌프카 1대를 이용하여 콘크리트(27m³)를 타설하였다. 양생은 아래와 같이 계절별로 달리하여 관리하였다.

##### － 하절기 양생

하절기에는 7일간 습윤양생을 실시하였다.

##### － 동절기 양생(증기양생)

증기양생 관리는 총 17시간으로 관리하고, 전치시간은 3시간 이상 유지시키며 온도상승은 20°C로 유지될 때까지 서서히 증가시켰다. 증기보온 양생은 20°C로 8시간 양생을 실시하며, 온도하강시에는 내부와 외기의 온도가 같아질 때까지 시간별 내부 온도를 check 하였다. (온도 하강시 시간당 10°C 이하로 온도 하강 관리) 양생온도를 20°C로 설정한 것은 수화열에 의한 균열 발생을 방지하기 위함이다.



MCB 콘크리트 타설 전경



MCB 양생 전경

#### > MCB 콘크리트 타설 및 양생

#### 2.4.4 거푸집 탈형

MCB 분리 시 최소 인양강도는 설계상 27 MPa이나 전단 파손을 방지하기 위하여 보수적으로 31.5 MPa 압축강도를 확보한 후 거푸집을 탈형 및 분리하였다.



#### > 거푸집 탈형 및 바닥면 마감

#### 2.4.5 Head Anchor 매설

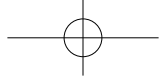
MCB 철근 배근 작업시 MCB 롤링 작업과 MCB 인양 작업을 위하여 Head Anchor를 미리 매입하였다.

－ 규격 및 재질 : f20-500mm, SM45C

－ 열처리 : 노멀라이징 열처리

－ 롤링 작업용 : H/Anchor 3EA 벽체 매입

－ MCB 인양용 : H/Anchor 4EA 상부 매입



#### 2.4.6 MCB 롤링

MCB 롤링 작업시 구조물의 파손 발생을 방지하고자 충격 완화를 위한 모래판을 설치하였으며, 모래판 바닥에는 고무판을 깔아 두었다. 롤링 작업시에는 150톤 겐트리 크레인 장비를 사용하였다.



##### > MCB 롤링 작업과정

### 2.5 대블럭 제작

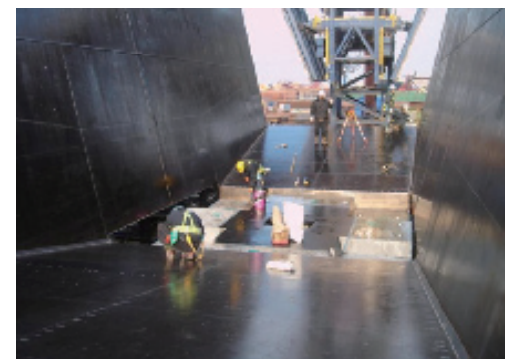
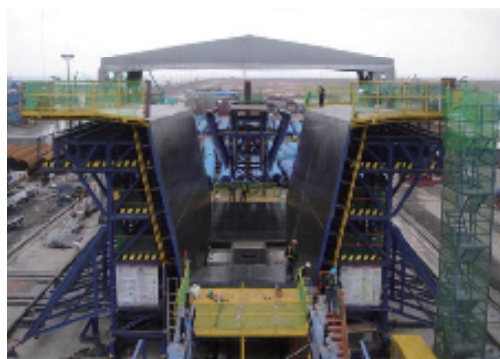
#### 2.5.1 사전 작업

##### 1) MCB 세팅

먼저 제작된 MCB를 대블럭 지점부 하면에 매치캐스팅 하기 위해 이동식 대차에 안착시킨 후 외부 폼 위치에 세팅시킨다. 이때 대블럭이 가설될 횡단경사(2%)를 고려하기 위 해 미리 이동식 대차에 2%의 경사가 적용되었다. (중방향 경사는 제외)

##### 2) 주두부 외부 폼 세팅

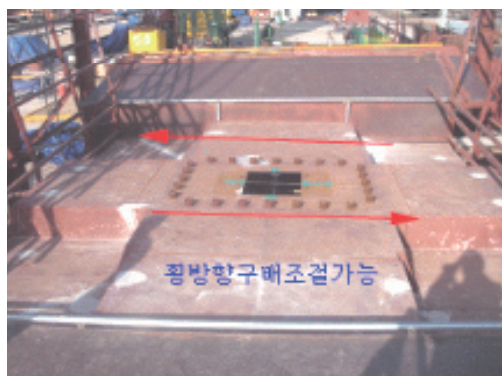
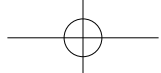
MCB 세팅이 완료되면 유압 잭을 이용하여 외부 폼을 정위치 시킨다. MCB는 신규 콘크리트 분리를 원활하게 하기 위하여 MCB 위에 분리제(세라콘 300)를 도포하였으며, 부분적으로 접착용 아스 테이지를 사용하였다.



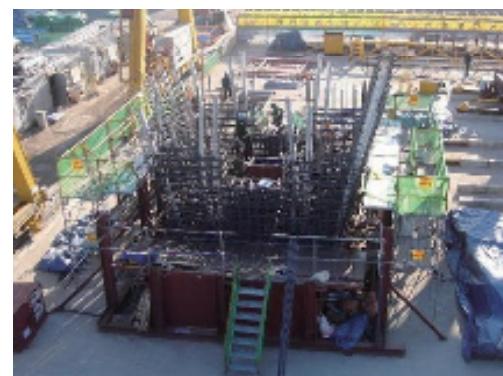
##### > MCB 및 외부 폼 세팅

##### 3) 선조립 철근망 제작

대블럭 중앙부분의 철근조립 작업은 별도 작업대에서 선조립한 후 거푸집 물드에 일괄 삽입하는 방법으로 진행하였다. 선조립 철근망의 제작은 MCB 세팅 전 일정에 맞추어 착수일을 선정하였으며, 주두부 대블럭 제작 공정의 Cycle Time과 관계없이 Lead Time을 확보함으로써 철근 조립 작업에서 4일간의 공정을 단축하는 효과를 가졌다.



철근 선조립 지그대



철근망 제작

#### > 선조립 철근망 제작

이 선조립 철근망 작업대는 외부 폼 세팅시의 MCB 형상을 그대로 본떠서 제작되었으며 횡방향 경사를 가설 방향에 맞추어 조절될 수 있도록 하였다. 철근망 선조립 시 수직 텐던 스위관(F140mm)은 최종 선형을 유지시키기 위하여 가조립 상태로 두었다. 주두부 외부 폼 세팅이 완료되면, 50톤 겐트리 크레인을 이용하여 기 조립된 철근망을 대블럭 거푸집 내부의 정위치로 운반하여 설치한다.

### 2.5.2 1차 콘크리트 타설

#### 1) 개요

1차 타설은 당초에는 하부슬래브 한치부를 따라 경사지게 타설하는 것으로 계획하였으나 분리 타설로 인한 구속균열 최소화 및 타설 경사 완화를 위하여 타설고를 높이도록 변경하였다.

#### 2) 1차 철근조립 및 내부 폼세팅

선조립된 철근망이 대블럭 거푸집 내부에 세팅되면, 나머지 하부철근 및 벽체 철근을 조립하였다. 이때, 대블럭 폼과 MCB의 결합시에 스위관 커플러(F150mm)를 사용하여 스위관의 고정 및 선형 정위치 작업을 완료하였다.



#### > 선조립 철근망 근입 및 하부 철근배근

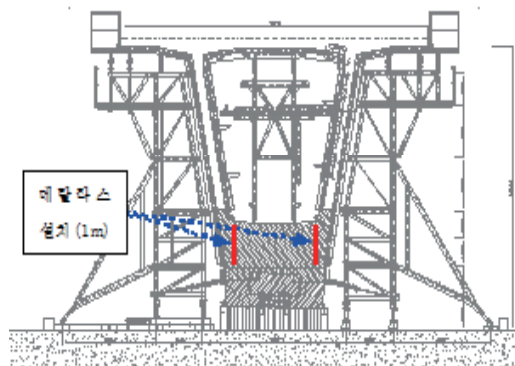
단부 면에는 소블럭(Seg.2)과 접하는 CIP Joint 부분의 간격 확보를 위하여 <간격 유지용 강봉>이 설치된다. 이 강봉의 설치를 위하여 강봉 너트(L=120mm, F40mm 강봉용)를 미리 매입하였다. 연직 텐던 스위관은 철근배근 및 콘크리트 타설 작업시 이탈되는 것을 방지하기 위하여 1m 이내 간격으로 고정하였다. 고정 철근은 D10mm를 사용하였다. 하부 철근 조립 작업시 W6, W8, E6, E8 송도/영종도 방향의 총 8개소 주두부 대블럭 제작에는 하부 철근 배근시 내부 점검 통로를 위한 보강 철근을 배근 하였다. 주두부 대블럭의 1차 철근 배근(하부 철근 및 벽체 주철근)이 완료되면 폼을 최종적으로 세팅하고, 1차 콘크리트 타설 준비를 하였다.





### 3) 1차 콘크리트 타설

콘크리트는 펌프카 2대를 이용하여 타설하였으며, 이때 철근 배근이 복잡하므로 Vibrator를 사용하여 밀실한 다짐이 되도록 관리하였다. 1차 타설 물량은 202 m<sup>3</sup>로서 5시간 정도 소요되었다. 이때, 콘크리트 타설시 하부면 경사로 인해 흘러내릴 수 있어 유동성을 제어하고 마감면을 양호하게 유지하기 위하여 메탈라스를 설치하였으며, 양쪽 하부타설 완료 후에는 슬럼프를 조절하여 벽체 타설을 진행하였다.



메탈라스 설치



1차 콘크리트 타설

#### > 대블럭 1차 타설 작업 전경

한편, 당초 헨치부 폼은 배근된 철근에 철선으로 고정된 후 1차 콘크리트 타설을 하였으나, 헨치부 폼이 부상하는 현상이 발생하여 헨치부 폼을 하부 폼과 타이바로 연결하여 고정하였다.

### 4) 1차 콘크리트 양생

콘크리트 양생은 계절에 따라 달리 적용하였다. 하절기 양생은 비닐과 부직포를 덮고 5일간 습윤양생을 실시하였으며, 동절기에는 비교적 낮은 온도(40°C)로 스팀에 의한 보온양생을 실시하였다. 이는 타설후 폼 해체시 요구되는 소요강도(17.5 MPa)가 원활하게 발현 되도록 함과 동시에 수화열에 의한 균열발생을 제어하기 위한 것이다.



하절기 습윤양생



동절기 보온양생

#### > 콘크리트 양생

동절기 양생시간은 총 16시간으로 하되 전치시간은 3시간 이상 유지시키며, 온도상승은 40°C로 유지될 때까지 서서히 증가시켰다. 온도 40°C 유지 시간은 6시간 동안 실시하며, 온도 하강시에는 내부와 외기의 온도가 거의 같아 질 때까지 시간별 내부온도를 check 한다. 온도 하강시 급격한 온도 저하를 방지하기 위해 앞뒤 천막을 1m 정도만 개방하여 시간당 10°C 이하로 감온 상태를 유지한다.



### 2.5.3 2차 철근배근 및 PT 작업

#### 1) 치핑 및 벽체 철근 조립

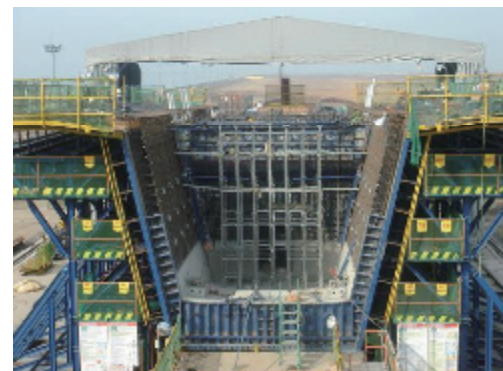
콘크리트 강도가 17.5Mpa 이상 확보된 후 콘크리트 양생상태를 확인하고, 이어치기할 부분의 콘크리트 표면에 이물질과 레이턴스 제거를 위해 치핑작업을 실시한 후 벽체 철근을 조립한다. 이때, 신규 타설면의 구속 균열을 제어하기 위하여 벽체 내측과 외측에 D13mm 철근을 150mm 간격으로 보강하여 배근하고, 연직 텐던 정착구 부근은 단면 두께가 큰 매스콘크리트 이부로 복부 외측으로 D13mm 철근(L=1000mm)을 150mm 간격으로 추가 보강하였다. 이는 수화열로 인한 온도 균열을 제어하기 위함이다.

#### 2) 내부 및 벽체 폼 조립

내부 폼은 조립작업을 용이하게 하기 위하여 사전에 소조립한 조각 폼들을 설치하여 최종 결합하였으며, 하부슬래브 지지용 동바리는 시스템 동바리를 사용하였다. 다이아 프레임 부분의 내부 폼이 조립이 완료되면 벽체 및 상부 내부 폼을 조립한다. 공사 초기에는 벽체 및 상부 내부폼을 설치할 때 유압 시스템을 이용하여 벽체와 한 번에 조립하여 설치하였으나, 시간이 다소 오래 걸리고 작업성이 저하되는 문제가 있어 50톤 겐츨리 크레인을 사용하여 각 부재들을 부분적으로 따로 설치하는 것으로 작업방법을 바꾸었다. 벽체 및 상부 내부 폼 설치가 완료되면 상부 캔틸레버와 상부 내부 폼 조립 순으로 진행하며, 이때 레벨 및 정위치 측량을 정밀하게 실시하여 기하형상을 확보하도록 하였다.



내부 폼 설치 전경



내부 폼 및 시스템 동바리 설치

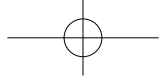
#### > 거푸집 폼 설치 작업 전경

#### 3) 내부 철근 배근

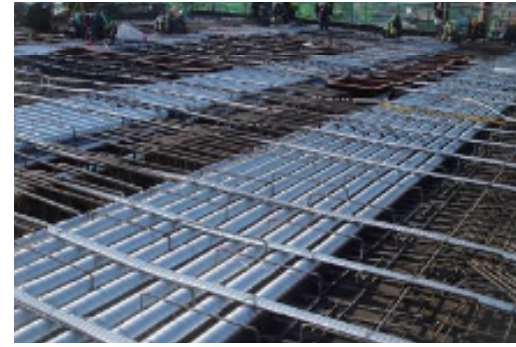
내부 다이아 프레임 부분의 폼 작업이 완료되면, 철근배근과 함께 External Tendon(이하 EXT)용 덕트를 설치한다. EXT 텐던은 대블럭을 중심으로 좌우측으로 겹치게(Overlapping) 설치되므로 내부 다이아 프레임 부분에서 총 20열이 설치되며, 이 텐던의 덕트들은 곡률 반경을 고려하여 제작된 아연도금 Steel Pipe로 적용하였다. 이때 텐던들의 프로파일 유지가 매우 중요하므로 덕트 조립 작업은 매우 정밀한 관리가 이루어졌다. 또한 텐던 정착구와 인양홀 주변은 집중하중에 의한 인장영역 철근량 산정에 의거해 정착구 보강철근을 배근하였다.

#### 4) 상부 철근배근 및 PT 작업

상부슬래브 철근을 배근하면서 동시에 PT작업이 이루어진다. 대블럭 구간에는 종방향 텐던용 덕트(아연도금된 쉬스관, F100mm)가 복부(Web)를 중심으로 13열씩 총 52열(예비텐던 4열 포함)이 배치되며, 횡방향 텐던용 덕트(Flat 타입의 쉬스관, 19mm×70mm)를 25열 설치한다.



종방향 텐던 쉬스관 설치



횡방향 텐던 쉬스관 설치

#### > 종/횡방향 쉬스관 설치

이때, 일정한 곡률을 가진 25개소의 횡방향 쉬스관은 제 위치에 정렬함과 동시에 5가닥의 강연선(0.5", 12.7mm/개소)을 인력 작업을 통해 미리 삽입하면서 설치한다. 덕트 연결부는 틈새가 발생하지 않도록 테이핑 처리하였으며, 강연선이 노출되는 부위는 이물질이나 습기에 오염되지 않도록 비닐 튜브로 감싸두었다. 또한, 덕트 내부에 그라우트 주입 및 배출을 위한 에어벤트들을 소정의 위치에 설치해 둔다.

### 2.5.4 2차 콘크리트 타설

#### 1) 2차 콘크리트 타설

2차 콘크리트는 펌프카 2대를 사용하여 타설(316 m<sup>3</sup>)을 진행하였으며, 타설시간은 약 6시간이 소요되었다. 벽체 타설시 타설용 호스가 들어갈 수 있도록 사전에 철근 간격을 조정하여 배근하였으며, 상부슬래브에 배근된 철근들 중 간격이 협소한 구간은 타설 중에 임시로 간격을 벌린 후 타설 하였다. 벽체 타설이 종료되고, 상부 타설이 진행되기 전에 간격을 원상태로 복구하여 타설을 진행하였다.



2차 타설 전경



마감 작업(전동식 작업대차)

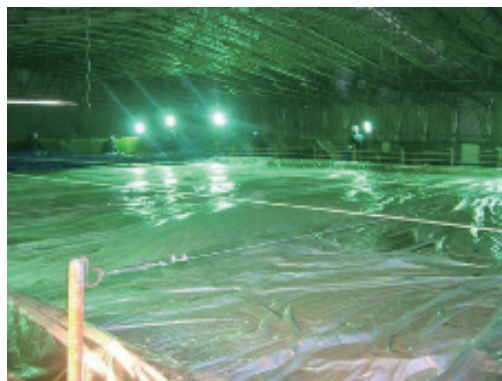
#### > 2차 콘크리트 타설 전경

콘크리트 타설후 상부면 마감작업은 작업구와 수직텐던 정착구 블럭아웃 박스들의 간섭으로 인해 제약이 따르므로, 면 마감작업을 총 3차에 걸쳐 실시하였다. 1차 마감은 스크리드를 사용하여 실시하였으며, 2차 마감은 전동식 작업대차를 이용하여 인력에 의한 흠손 미장을 통하여 실시하고, 최종적으로 작업대차에 천을 달아 끌어주는 방식으로 면 마감작업을 마무리하였다.

#### 2) 양생

타설이 완료되면 몰드의 천막을 닫고, 상부 타설면은 비닐을 깐 후 그 위에 양생포를 덮어 표면수가 증발되는 것을 방지하였다. 그리고 콘크리트가 어느정도 경화된 후에는 수화열에 의한 균열을 방지하기 위해 수시로 살수를 해주는 방식으로 습윤상태를 유지하였다.





콘크리트 양생관리 전경



양생중 살수를 통한 습윤상태 유지

> 상부슬래브 양생관리

대블럭 2차 타설인 경우에는 수화열에 의한 균열지수를 최소화하도록 하절기와 동절기에 동일하게 비교적 낮은 온도의 증기 공급을 통한 보온양생이 적용되었다. 내부 온도가 20℃ 이상인 경우 증기양생 자동밸브는 작동되지 않도록 하였으며, 하절기에는 타설 다음날부터 물을 30℃로 데워 살수해주는 방식으로 습윤 상태를 유지하였다.

## 2.5.5 텐던 긴장 및 폼 해체

### 1) 종/횡방향 텐던 긴장

콘크리트 양생후 현장 몰드시험을 통해 압축강도가 31.5 MPa이상 발현되었음이 확인되면, 상부슬래브 단부면의 마구리 폼을 해체하고, 텐던 긴장작업을 실시하였다. 횡방향 텐던 긴장은 “일단긴장”으로 실시하며, 긴장순서는 압축력이 고르게 전달될 수 있도록 중앙부로부터 양쪽 단부 방향으로 교차되도록 긴장을 진행하였다.

> 텐던 제원 및 긴장력

구 분	횡방향 텐던	종방향 텐던
텐던의 제원	5nos - F12.7mm (0.5")	19nos - F15.2mm (0.6")
텐던당 긴장력	689 kN	3,431 kN



횡방향 텐던



종방향 텐던

> 종/횡방향 텐던 긴장 전경

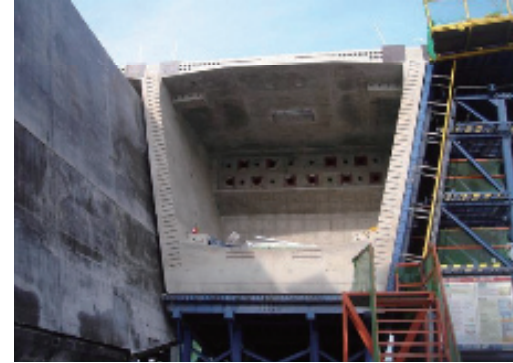


## 2) 폼 해체

주두부 대블럭 런칭 전 내부 코아 폼 및 런칭 방향의 외부 폼을 해체한다.



코아 폼 해체



외부 폼 해체

### > 폼 해체 작업 전경

### 2.5.6 대블럭 런칭

대블럭 제작이 완료되면 외부거푸집을 해체하고 런칭작업을 실시하였다. 런칭작업은 Skid Rail 위에 테프론이 부착된 이동대차를 이용해 잭 시스템 파워 유닛으로 추진하였다. 이 과정에서 대블럭의 무게 중심이 위쪽에 있으므로 런칭중 전도될 우려가 있어 이를 방지하기 위해 6시간에 걸쳐 서서히 추진하였다.[잭 시스템 파워 유닛 제원 : 펌프=20 Hp x 650 BAR x 8 Port (1 SET), 잭 = 100 Ton - 1800 mm stroke (2 EA)]



Jack System Power Unit



대블럭 런칭 작업

### > 잭 시스템 파워 유닛에 의한 런칭 작업 전경